

Índice de confort de la vegetación

Orlando E. Jiménez González¹

Grupo de Estudios de Arquitectura Bioclimática –GEAB–

Facultad de Arquitectura
Universidad del Atlántico

Fecha de recepción: 20/08/2008, Fecha de aceptación: 15/11/2008

Resumen

El artículo presenta un resumen de la investigación *Uso de la vegetación nativa de Barranquilla, según índice de confort*, en la que se analizan las condiciones ambientales que se generan debajo de los árboles y con base en ello, se elabora un «índice de confort» que debe servir a los procesos de diseño urbano y arquitectónico en la selección de las especies que por confort climático tienen las mayores posibilidades de uso como componente espacial urbano y arquitectónico.

Palabras clave:

Sensación térmica, índice de confort, vegetación arbórea, temperatura efectiva.

Abstract

This article is a summary of the research project «Use of Barranquilla's Native Vegetation according to its Comfort Index», in which we analyze the environmental conditions created under the trees and, based on that, we came up with a comfort index that should be helpful for urban and architectural design, when selecting the species most likely to be used as a spatial component, given their climatic comfort potential.

Key words

Thermal sensation, comfort index, tree vegetation, effective temperature.

¹ Arquitecto
M.Sc. En Docencia Universitaria.
orjigon@hotmail.com



Introducción

La construcción de las nuevas urbes es una de las actividades que más ha contribuido a la pérdida y destrucción progresiva de los bosques y la vegetación arbórea nativa, sobre todo. Cada vez hay menos espacio en la ciudad para plantar árboles, éste se reduce a los separadores de las avenidas, los jardines privados; (en los casos en donde este espacio existe); los parques y el andén que separa las edificaciones de la vía. La expansión del área urbana de la ciudad, ha propiciado la tala indiscriminada de la vegetación arbórea; razón por la cual en las ciudades se presenta un deterioro de las condiciones microclimáticas. En el centro de las ciudades, el mayor número de actividades asociado a una mayor densidad de población y edificación, hace que la temperatura ambiente y la sensación térmica que en ellas se experimenta, sea más elevada que en las residenciales, en donde se encuentran parques, calles, jardines y patios arbolados. Las edificaciones próximas a avenidas arboladas, tanto como parques, bosques y áreas verdes presentan temperaturas más agradables.

Las especies vegetales tienen una especial incidencia en la calidad de vida de las ciudades, la cual parece que no se tiene en cuenta al momento de planificar el desarrollo de las mismas, pues se antepone otras circunstancias e intereses a la hora de crear o conservar áreas libres o zonas verdes. Los árboles son componentes importantes en la estética urbana proveen de sombra y refrescan el aire, sirven como barreras de viento, controlan el ruido, protegen de la radiación solar y ayudan a la salud física y mental. Adicionalmente, la arborización

urbana puede atenuar los efectos de las Islas de calor,² que tienden a formarse en el espacio urbano y que en gran medida inciden en la temperatura, los vientos y la pluviosidad, es decir, en las condiciones climáticas.

Para la arquitectura y el urbanismo la vegetación es altamente beneficiosa, dado que en el sentido estricto de la palabra, se le puede considerar como modificadora de las condiciones climáticas del medio, en tanto que tiene una incidencia directa sobre la temperatura, humedad, y movimiento del aire. Del conjunto de la vegetación la que presenta las mejores características morfológicas y de desarrollo para actuar en la dirección antes mencionada es la arbórea. La vegetación arbórea es la que presenta como característica un solo tronco leñoso que emerge del suelo y luego se ramifica o desarrolla ramas en diferentes direcciones.

En este contexto surge la investigación *Uso de la vegetación nativa de Barranquilla, según índice de confort* la cual tiene como objetivo analizar las condiciones ambientales y de confort que se generan debajo de los árboles y basado en ello, elaborar un «índice de confort» que sirva de guía para la identificación y selección de las especies que ofrecen las mejores condiciones de confort térmico y por lo tanto tienen mayores posibilidades de uso como componente espacial urbano y arquitectónico.

Desarrollo metodológico y aspecto conceptuales

Área de estudio

Para el desarrollo de la investigación se escogió el área urbana y semi-rural de la ciudad de Barranquilla, esta pertenece a la zona de vida bosque seco tropical,³ su clima se califica como cálido húmedo.

Las características principales del clima de Barranquilla son altas temperaturas, (23° C la mínima y 35° C la máxima), con pequeñas variaciones del día a la noche, continua presencia de humedad y ausencia de variaciones estacionales a la manera del norte y sur del hemisferio terrestre. Los vientos predominantes son los alisios con una velocidad que fluctúa entre 0,1 m/seg para el momento de relativa calma y 9,3 m/seg para el de más intensidad. Los niveles de humedad, se registran entre el 70% y el 80% de humedad relativa. El cielo normal-



Detalle casa de Barraquilla.

... ..
² El llamado efecto de Isla de calor característico de los Ecosistemas Urbanos se presenta en áreas urbanas en donde se dan altas concentraciones de partículas, gases contaminantes, aerosoles y además se acumulan materiales de la construcción que aumentan de forma considerable la absorción de calor por fenómenos de reflexión.

³El bosque seco debe soportar un prolongado verano y por ello las especies que lo conforman tienen adaptaciones para sobrevivir. La mayoría de sus árboles sueltan sus hojas al llegar el período seco, de ahí el nombre de bosque caducifolio, y su período de defoliación puede prolongarse hasta por cinco o seis meses incluyendo el período de Diciembre a Abril. Este fenómeno que se presenta en la mayor parte del arbolado, es una adaptación de los árboles que les ayuda a evitar la pérdida de agua por transpiración, precisamente durante los períodos más secos en los que la lluvia es mínima y el suelo no tiene reservas de agua para satisfacer las necesidades de éstos.

mente se presenta despejado y en ocasiones parcialmente nublado con nubes blancas y muy brillantes. Las características climáticas antes anotadas justifican plenamente el desarrollo de esta investigación sobre la vegetación y sus posibilidades de uso en la conformación del paisaje urbano-arquitectónico.

Vegetación arborea de Barranquilla

La vegetación arbórea de Barranquilla es una combinación de bosque seco tropical, sabana y bosque lluvioso, con predominio del primero. El bosque seco tropical ocupa una vasta área de la planicie costera del Caribe, que se extiende desde el sur de la Guajira hasta Córdoba.

La vegetación de Barranquilla es bastante diversificada y está constituida por especies nativas y naturalizadas, originarias de Asia, América del Norte, del Sur y Centroamérica. La vegetación naturalizada es la predominante. Esta vegetación está presente en patios, parques, jardines, calles y avenidas de la ciudad.

Con características propias de la vegetación arbórea, es decir, un solo tronco leñoso que emerge del suelo y luego se ramifica, se identificaron 63 individuos diferentes, entre árboles frutales, palmeras y ornamentales. Esta vegetación se localiza tanto en la periferia semi-rural como en toda el área urbana.

El nombre con que comúnmente se conocen estas especies en Barranquilla y su nombre científico se presenta en las Tablas 1 y 2.

Tabla 1.
Vegetación arbórea de Barranquilla. Palmeras

Nombre común	Nombre científico
Palma areca	<i>Chrissalidocarpus lutescens</i>
Palma botella	<i>Veitchia merrlii</i>
Palma real	<i>Roystonea regia</i>
Palma abanico	<i>Pritchardia pacifica</i>
Palma canariensis	<i>Phoenix canariensis</i>
Palma mariposa	<i>Caryota ureris</i>
Palma real o de vino	<i>Allalea butyracea</i>
Palma mil pesos paraíso	<i>Oenocarpus bataua</i>

Tabla 2.

Vegetación arbórea de Barranquilla. Ornamental y frutales

Nombre común	Nombre científico
Abeto	<i>Cassia siamea</i>
Acacia blanca	<i>Leucaena glauca</i>
Acacia roja	<i>Delonix regia</i>
Aceituno	<i>Simarouba glauca</i>
Álamo blanco	<i>Ficus religiosa</i>
Alelí	<i>Melia azederach</i>
Almendro	<i>Terminalia catapa</i>
Alstonia, Quina australiana	<i>Alstonia constricta</i>
Árbol del pan	<i>Artocarpus utilis</i>
Árnica	<i>Ixora coccínea</i>
Azahar de la india	<i>Muralla paniculada</i>
Azuceno blanco	<i>Plumería alba</i>
Azuceno rojo	<i>Plumería rubra</i>
Bendición de la India	<i>Lagerstroemia speciosa</i>
Caimito	<i>Pouteria cainito</i>
Camajará o piñón	<i>Sterculia apetala</i>
Caraqueño	<i>Erythina variegata</i>
Castaño blanco	<i>Pachira aquatica</i>
Caucho	<i>Ficus elastica</i>
Caucho pandurata	<i>Picus Lyrata</i>
Ceiba blanca	<i>Hura crepitans</i>
Ceiba bonga	<i>Ceiba pentandra</i>
Ceiba roja (Tolúa)	<i>Pochota quinata</i>
Ciruela	<i>Spondia purpura</i>
Coca o Jayo	<i>Inga sp.</i>
Eucalipto	<i>Eucaliptus var. Caribe</i>
Flemón	<i>Thespesia populnea</i>
Guácimo	<i>Guazuma ulmifolia</i>

Tabla 2. (continuación)

Vegetación arbórea de Barranquilla. Ornamental y frutales

Nombre común	Nombre científico
Guayaba	<i>Psidium guajava</i>
Guayacán amarillo	<i>Tabebuia chrysanta</i>
Guayacán azul	<i>Guaiacum officinale</i>
Guinda	<i>Zyziphus vulgaris</i>
Huevo vegetal	<i>Blighia sávida</i>
Indio desnudo	<i>Bursera simaruba</i>
Laurel	<i>Ficus benjamina</i>
Lluvia de Oro	<i>Cassia fístula</i>
Mamón	<i>Melicocca bijuga</i>
Mango	<i>Mangifera indica</i>
Marañón	<i>Anacardium occidentale</i>
Matarratón	<i>Gliricidia sepium</i>
Matarratón extranjero	<i>Cassia nodosa</i>
Naranjillo	<i>Trichantera gigantea</i>
Níspero	<i>Manilkara zapota</i>
Nuez moscada	<i>Coccoloba uvifera</i>
Olivo	<i>Capparis Indica</i>
Pera costeña	<i>Eugenia malascense</i>
Pino	<i>Araucaria columnaris</i>
Pasquín	<i>Tabebuia bilbergii</i>
Pivijai	<i>Phyllantus acidus</i>
Roble morado	<i>Spondia mombin</i>
Sauce	<i>Salix humboldtiana</i>
Tamarindo	<i>Tamarindus indica</i>
Trupillo	<i>Prosopis juliflora</i>
Tulipán africano	<i>Spathodea campanulata</i>
Uva playa	<i>Coccoloba uvifera</i>



Características morfológicas de la vegetación arbórea

Patrón de ramificación

El patrón de ramificación o **arquitectura de la planta**, es la expresión morfológica visible de su programa genético de crecimiento en una etapa específica de su desarrollo, esta surge como resultado del equilibrio entre los procesos endógenos de crecimiento y las restricciones exógenas ejercidas por el medio.⁴

Cada especie vegetal requiere de un clima en el cual se den las mejores condiciones para su desarrollo. Los factores del clima que inciden positiva o negativamente sobre la vegetación en general son la luz, la temperatura, la humedad relativa del aire, el régimen de vientos, la pluviometría y la radiación solar.

Algunas especies se adaptan relativamente bien a climas que presentan cambios aparentemente significativos en algunos de los factores antes señalados, mientras que otras lo hacen a medias presentando desarrollos anormales, con relación a su sitio de origen.

En Colombia los estudios sobre **arquitectura de la planta** son bastante escasos y además los que se han realizado no se hicieron con propósito relacionados con la construcción de objetos arquitectónicos o el diseño del espacio urbano, sino con la intención de identificar los procesos endógenos que controlan el crecimiento y la forma de toda la planta, para mejorar las técnicas de cultivo de los mismos y hacer predicciones sobre su crecimiento y rendimiento en el caso de los frutales. En este trabajo, el estudio de la **arquitectura de la planta**, se hace para determinar cuanta influencia tiene ésta en la creación de las condiciones de confort debajo del árbol.

Nuestro interés no es conocer las etapas o patrón de crecimiento sino la forma final del árbol adulto y su influencia en el clima.

Con relación al patrón de ramificación, encontramos que la variedad de especies de la vegetación arbórea presente en el espacio urbano de Barranquilla, participa de todos los modelos de ramificación propuestos por Hell y otros tantos estudiosos que se ocuparon del tema. Teniendo en cuenta las características observadas en cada especie, la vegetación estudiada se puede ubicar en los siguientes modelos. Ver Tabla 3.

.

⁴Citado por JIMÉNEZ, Rojas Eliana María *et al.* En Descripción de la Arquitectura de *Irianthera Tricornis*, *Osteophloeum Platyspermum* y *Virola Pavonis* (*Myristicaceae*).

Tabla 3.
Patrón de ramificación

PATRÓN	CARACTERÍSTICAS	ÁRBOLES
DICOTÓMICO	Tronco bifurcado en dos ramas más o menos iguales, las cuales a medida que van creciendo se dividen a su vez en dos.	Nuez moscada, Pisquín, Lluvia de oro, Algarrobo, Acacia blanca, Sauce, Matarratón común, Azuceno rojo, Azuceno blanco, Uva playa, Acacia roja, Ceiba bonga, Aceituno, Alamo blanco, Caraqueño, Camajarú, San Joaquín, Eucalipto, Tamarindo, Trupillo, Totumo, Castaño blanco.
MONOPÓDICO	Tronco que se extiende a lo largo del árbol y ramas laterales de menor grosor y extensión que el tronco.	Pino.
SIMPÓDICO	Fuste de poca altura, al final del cual se desarrollan varias ramas laterales semejantes, que también se van ramificando.	Árbol del pan, Clemón, Trébol, Caucho, Olivo, Ceiba blanca, Acacia blanca, Indio desnudo, Naranjillo, Sauce, Laurel, Matarratón extranjero, Maraón, Tulipán africano, Bendición de la India, Mango, Níspero, Guayacán azul.
COMBINADO	Tronco monopódico con crecimiento simpódico de las ramas.	Almendro, Roble amarillo, Guayacán amarillo.
	Tronco dicotómico y ramas simpódicas.	Alstonia, Pivijai, Roble morado.

Follaje

Cubierta protectora, de los rigores del clima, que ofrecen los árboles. Las características de éste en cuanto a su forma y espesura dependen del patrón de ramificación y del tipo de hoja. El follaje será más o menos denso dependiendo de si el patrón de ramificación es extendido, abierto o cerrado. Los árboles con un patrón de ramificación simpódico, cuyo desarrollo es predominantemente horizontal presentan el follaje más denso a diferencia de los monopódicos cuya tendencia de desarrollo es predominantemente vertical.

El follaje, como síntesis de la combinación del patrón de ramificación con las hojas, es el elemento, de la morfología del árbol, más decisivo o incidente en la generación de la sensación térmica agradable que se experimenta debajo de los árboles. De esto se deduce que a mayor densidad del follaje, mayor protección a la penetración de la radiación solar y por lo tanto mejores condiciones ambientales.

Tabla 4.
Modelos de follaje

PATRÓN	CARACTERÍSTICAS	ÁRBOLES
UMBELIFORME	Fuste alto y follaje de gran volumen que se extiende horizontalmente semejando una sombrilla.	Caucho, Acacia blanca, Caucho pandurata, Ceiba blanca, Laurel, Guayacán azul, Ceiba bonga, Árnica.
PIRAMIDAL	Tamaño medio, tronco bajo y copa escalonada desde la base hasta el ápice.	Roble morado, Almendro, Pino.
REDONDO O GLOBOSO	Talla pequeña a mediana, copa baja y densa de formato redondeado.	Olivo, Azuceno rojo, Azuceno blanco, Caraqueño, Azahar de la India.
COLUMNAR	Copa en forma de flecha, talla alta y pequeño diámetro de copa.	Tulipán africano, Pera costeña, Huevo vegetal, Pino.
IRREGULAR	Talla diferente, no tiene una forma característica es de copa ligera y con muchos intersticios entre ramas.	Álamo blanco, Tamarindo, Roble amarillo, Marañón, Pisquín, Uva playa, Lluvia de oro, Matarratón y Guayacán amarillo, Nuez moscada, Alstonia, Aceituno, Alelí, Pivijai, Sauce, Coca o jayo, Matarratón extranjero, Bendición de la India, Camajarú, San Joaquín, Eucalipto, Mamón, Trupillo, Totumo, Mango, Níspero, Acacia roja, Clemón, Castaño blanco.
COLGANTE	Ramas dobladas hacia abajo y provistas de gran movilidad.	Árbol del pan, Ciruelo y Acacia roja.

A propósito de este tema, la forma del follaje de las especies arbóreas de Barranquilla, se ajusta a los siguientes modelos:⁵ umbeliforme, piramidal, redondo o globoso, columnar, colgante e irregular. Algunas especies presentan variaciones en su follaje debido a la desfoliación, a la falta de espacio o a alteraciones del patrón de ramificación producto de elementos exógenos como los vientos.

Las características de cada modelo de follaje y los árboles que se ajustan a cada uno de ellos, se muestran en la Tabla 4.

Confort térmico y vegetación

Confort térmico

El confort térmico ha sido definido como «(...) esa condición mental en la que se expresa la satisfacción con el ambiente térmico de un lugar».⁶ Cuando el ambiente térmico no es agradable, surge la situación de desconfort y el rendimiento físico e intelectual disminuye.

.....

⁵ Ver, BIONDI, Daniela. *Paisajismo*. Recife: UFRPe. 1990. 184p.
http://www.sbau.com.br/arquivos/gaucho_arborizacao/Anais_do_evento/Relação_espaco_urbano_forma_do_vegetal_e_manejo.

⁶ Norma ISO 7730.



Lluvia de oro *Cassia fistula*.

El confort térmico es una situación de bienestar de la cual se debe disfrutar tanto al interior de los espacios como fuera de los mismos. Esta situación está afectada por las características ambientales del lugar y muy especialmente por factores climáticos como: la temperatura, la humedad, el viento, la radiación solar y su variabilidad a través del día y el año.

La situación de bienestar es una condición psicofisiológica, de las personas, que les lleva a sentir y expresar su satisfacción con el ambiente térmico del espacio, (interior o exterior), que ocupa en el desarrollo de sus actividades (reposo, trabajo, educación, recreación, por mencionar algunas). Los niveles de confort requeridos por el individuo en actividad plena o actitud pasiva determinan los alcances de la adecuación del espacio y por lo tanto la modificación del clima interior o exterior.

El logro de un ambiente térmicamente agradable, ha sido una preocupación constante e histórica en la construcción de los espacios habitables. En efecto una de las razones que tuvo el hombre para la construcción de la vivienda, fue la modificación del clima (Rappaport, 1972). En esencia se trataba de la búsqueda de condiciones confortables para el desarrollo de las actividades ligadas a los procesos de producción, distribución, consumo, recreación y reproducción.



Mamón *Melicocca bijuga*.

La Ergonomía considera el confort térmico, como una variable que sintetiza las condiciones de equilibrio entre la temperatura ambiente y la temperatura del cuerpo (37° C). A partir de los principios y objetivos de la Bioclimática, los arquitectos y urbanistas han mostrado interés por el tema y lo han incluido como una variable más del proceso de diseño.⁷

Para la cuantificación y manejo de tan importante variable, se ha ideado toda una serie de «índices de confort»⁸ que en el fondo son procedimientos de cálculo que permiten, *a posteriori* de la construcción, hacer evaluaciones del ambiente térmico, de los espacios interiores y por lo tanto estimar las condiciones de los mismos para el desarrollo de las actividades.

Estos índices no incluyen la vegetación como variable de análisis del confort. La vegetación ligada conscientemente a la arquitectura y el espacio urbano, puede jugar un papel importante en la mejora de las condiciones de confort, tanto al interior como el exterior de los espacios. La vegetación de mayor incidencia en este proceso de mejoramiento de las condiciones ambientales, es la arbórea debido a que

⁷ Los primeros trabajos desarrollados en esa dirección fueron los de los hermanos Olgyi y B. Givoni.

⁸ Para visión amplia sobre los diferentes modelos de «Índice de confort» ver, RUSA, Alvaro Cesar. Sistematização de conforto térmico em ambientes edificados e sua aplicação num software. Campinas, SP. 2002.

amortigua los efectos de la radiación solar, modera la temperatura de su entorno inmediato, incrementa o disminuye los niveles de humedad y modifica el comportamiento de los vientos.

El que debajo de un árbol se experimente una mayor o menor sensación de comodidad dependerá del desarrollo alcanzado por las hojas, el radio de copa, el patrón de ramificación y el follaje, lo cual se traduce en una modificación de las condiciones térmicas. La modificación de las condiciones térmicas, debajo del árbol, es lo que perciben las personas, a través de la piel, como una sensación térmica⁹ agradable y se acostumbra a expresarlo como un valor de temperatura. La temperatura (alta o baja) que se siente en un lugar determinado, es la actuación de la temperatura ambiente y la humedad, sobre el organismo, combinada con los efectos de pérdida o ganancia de calor provocados por el mecanismo fisiológico de reacción a los cambios del ambiente externo.

Para los propósitos del uso racional y fundamentado de la vegetación arbórea, es necesario evaluar y cuantificar las condiciones térmicas existentes debajo del árbol para trascender la simple expresión subjetiva de satisfacción y agrado con las condiciones climáticas experimentadas.

Sensación térmica

En meteorología se utiliza el término sensación térmica para expresar de manera exacta la temperatura que siente una persona, la cual en muchos casos resulta muy diferente a la temperatura ambiente registrada por los instrumentos. El concepto de sensación térmica también se utiliza para cuantificar la dificultad o facilidad que encuentra el organismo para disipar el calor producido por el metabolismo interno en defensa de unas condiciones térmicas adversas. La cuantificación de estas condiciones implica la medición de los parámetros climáticos que originan la sensación térmica en las personas. Estos parámetros son la temperatura ambiente y la humedad, los cuales inciden sobre la capacidad de pérdida o ganancia de calor del cuerpo humano; y a éstas hay que añadir la influencia del viento que contribuye a una mayor o menor sensación de incomodidad. En este proceso la humedad tiene mayor incidencia que la temperatura.

La percepción de la sensación térmica influye en las personas en lo fisiológico, lo psicológico y en su comportamiento.

La influencia en el comportamiento se manifiesta a través de las modificaciones que las personas hacen, consciente o inconscientemente, con el propósito de alterar o cambiar las condiciones térmi-



Trupillo *Prosopis juliflora*.

.....
⁹ R.G. Stedman desarrolló el concepto de sensación térmica como efecto combinado del calor y la humedad a partir de estudios sobre la fisiología humana y sobre la transferencia de calor entre el cuerpo, la vestimenta y el entorno.



Totumo *Crescentia cujete*.

cas existentes entre su cuerpo y el ambiente. Eso incluye cambio de actividad y de posición en el local de permanencia, realización de aberturas o cerramiento de ventanas y/o la colocación de dispositivos para sombreado, colocación y operación de controles de sistemas de ventilación, calentamiento y/o refrigeración y hasta ajustes culturales como cambio en los patrones del vestir y hasta la programación de las actividades conforme al clima.

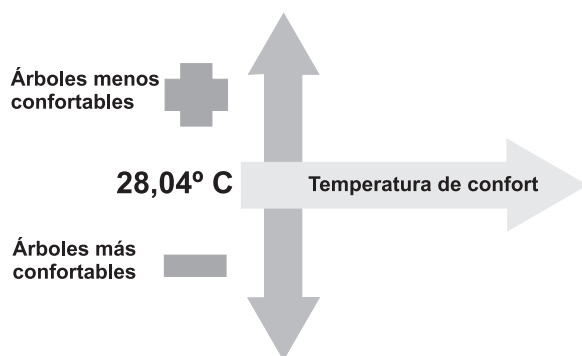
Si un cambio en las condiciones ambientales produce discomfort, las personas reaccionan buscando un lugar en donde la sensación térmica vuelva a ser confortable. Esto explica porque las personas se refugian debajo del árbol cuando a pleno sol la temperatura y la humedad son adversas a las condiciones de mantenimiento del equilibrio del cuerpo, es decir, el confort.

Temperatura efectiva y temperatura de confort

Cualitativamente se asocian al concepto de sensación térmica la temperatura efectiva y al temperatura de confort. El concepto de temperatura efectiva fue ideado por Houghton y Yaglou (Houghton, 1923:165-176) para proporcionar un método de determinación de los efectos relativos de la temperatura del aire y la humedad en la sensación de bienestar. La temperatura efectiva también se ha definido como un criterio de medida que permite estimar el nivel de bienestar a que está sometida una persona al momento de desempeñar una actividad en un ambiente determinado.

La temperatura de confort es un índice que se ha elaborado con el propósito de establecer las condiciones ambientales interiores o exteriores bajo las cuales se presenta el equilibrio adecuado entre el metabolismo del cuerpo y la actividad desarrollada por las personas, de manera, que éstas sienten bienestar. La temperatura de confort se considera como el punto de equilibrio entre confort y discomfort, En la percepción de la temperatura de confort intervienen factores tales como edad, género, talla y otros de tipo cultural. En consideración a lo antes mencionado se ha aceptado que una temperatura de confort buena es aquella en que al menos el 80% de las personas se sienten cómodas.

Tanto para la estimación de la temperatura efectiva como para la fijación de la temperatura de confort existen diferentes procedimientos que permiten calcular los llamados índices. Esos índices han sido desarrollados con fundamento en la teoría del balance térmico del cuerpo humano y del ambiente en régimen estacionario. La idea es que la sensación de bienestar térmico está ligada al trabajo que el sistema termorregulador humano tiene que desarrollar para mante-



ner el equilibrio térmico del cuerpo. Esto significa que, cuanto mayor sea el esfuerzo del sistema para mantener la temperatura interna del cuerpo, mayor será la sensación de disconfort o lo contrario cuanto menor sea el esfuerzo para mantener la temperatura interna del cuerpo, mayor será la sensación de confort.

En el contexto de esta investigación, los conceptos de temperatura efectiva y temperatura de confort son utilizados en la estimación y obtención del índice de confort de la vegetación. El supuesto es el siguiente:

Las condiciones ideales de confort, debajo del árbol, se darán cuando exista un equilibrio entre la temperatura efectiva, que se experimenta debajo del árbol, y la temperatura de confort exterior del lugar, es decir cuando sean iguales o su diferencia sea cero. A partir de este punto de equilibrio o de diferencia cero, los árboles se pueden clasificar como más confortables y menos confortables. Los más confortables serán los que presenten en grados centígrados una mayor diferencia negativa y los menos confortables aquellos que presenten en grados centígrados una mayor diferencia positiva.

En este orden de ideas el índice de confort de la vegetación se calculará como la diferencia entre la temperatura efectiva debajo del árbol y la temperatura de confort exterior del lugar. La idea es saber cuánto se aproxima o aleja la temperatura efectiva, de la temperatura de confort exterior estimada para el lugar de estudio.

Resultados

Temperatura efectiva bajo el árbol

Para el cálculo de la temperatura efectiva se tomó información de la temperatura y la humedad; presentes debajo y fuera del árbol, la cual posteriormente se utilizó aplicando el «Índice Termo-Higrométrico de Thom» cuya expresión matemática es la siguiente:



Níspero *Manilkara zapota*.

$$T_e = T - ((0,55 - 0,0055 \times H) \times (T - 14,5))$$

En donde;

T_e = temperatura efectiva

T = temperatura ambiente en ° C

H = Humedad relativa en %

0.55 y 0.0055 son constantes de ajuste matemático

14,5 constante de ajuste de la temperatura

La toma de los datos de temperatura ambiente y humedad relativa se hizo simultáneamente, debajo y fuera del árbol, mediante la utilización de dos termohigrómetros. Se tomaron medidas en diferentes épocas del año, (especialmente en el mes de Julio que es el peor en Barranquilla), y en el momento del día en que se presentan las peores condiciones ambientales, que para el lugar en donde se desarrolla el estudio es de 12 m. a 2 p.m.

La aplicación del «Índice Termo-higrométrico de Thom» a la información obtenida para cada especie arbórea se presenta en la Tabla 5.

Los valores de temperatura efectiva obtenidos para las diferentes especies arbóreas de Barranquilla, se encuentran entre 26,13° C y 31,05° C. (Ver Tabla 5). Esta temperatura, que es la que se supone experimentan las personas, cuando está en juego o en funcionamiento todo su sistema termorregulador, está entre 2,30° C y 4,62° C por debajo de la temperatura registrada por el instrumento bajo el árbol. Comparando la temperatura efectiva con la temperatura a pleno sol se encontraron diferencias desde 4,84° C hasta 11,90° C, lo cual es altamente significativo para los propósitos de uso de la vegetación arbórea como moderador del clima.

Mango *Mangifera indica*.



En una interpretación más amplia de los valores de la temperatura efectiva, se puede decir que la sensación térmica debajo del árbol es de 2,30° C a 4,62° C más agradable o más baja que la temperatura registrada por el instrumento bajo el árbol. Esto quiere decir que hay árboles bajo los cuales se experimenta una mejor sensación térmica que en otros, lo cual es atribuible a las características del follaje, a la sombra generada por el radio de copa y a la densidad del follaje de cada árbol.

Es sabido que los árboles a través del follaje toman gran parte de la radiación solar que utilizan en su proceso de fotosíntesis y transpiración con lo que se opera una reducción sensible de la temperatura debajo del árbol. Por otro lado, el proceso de evapotranspiración contribuye al aumento de los niveles de humedad.

Tabla 5.

Temperatura efectiva de la vegetación arbórea de Barranquilla

ÁRBOL	TB	HB	TEB	ÁRBOL	TB	HB	TEB
Laurel	29	64	26,13	Álamo blanco	30	60	26,59
Olivo	29	65	26,21	Nuez moscada	30	60	26,59
Almendro	31	51	26,55	Castaño blanco	30	62	26,76
Marañón	30	67	27,19	Guácimo	30	63	26,85
Árbol del pan	31	58	27,19	Tulipán africano	30	66	27,10
Azahar de la India	31	58	27,19	Árnica	30	67	27,19
Mamón	32	52	27,38	San Joaquín	31	60	27,37
Pivijai	31	61	27,46	Acacia blanca	31	63	27,64
Eucalipto	31	63	27,64	Ceiba blanca	31	63	27,64
Totumo	31	63	27,64	Alstonia	30	73	27,70
Caucho	32	56	27,77	Coca o jayo	31	64	27,73
Roble morado	31	65	27,82	Ceiba roja	31	67	28,01
Pera costeña	31	65	27,82	Pasquín	31	68	28,10
Matarratón común	31	65	27,82	Flemón	31	69	28,19
Ceiba bonga	31	66	27,91	Caucho pandurata	32	63	28,44
Acacia roja	32	60	28,15	Huevo vegetal	32	64	28,54
Níspero	31	70	28,28	Matarratón extranjero	33	57	28,62
Trupillo	32	65	28,63	Caraqueño	32	65	28,63
Guayacán azul	31	74	28,64	Abeto	33	58	28,73
Tamarindo	32	66	28,73	Azuceno blanco	32	66	28,73
Ciruelo	33	64	29,34	Azuceno rojo	32	66	28,73
Lluvia de oro	35	50	29,36	Camajará	33	59	28,83
Mango	35	50	29,36	Alelí	34	60	29,71
Uva playa	33	65	29,44	Aceituno	35	58	30,26
Guayacán amarillo	34	64	30,14	Bendición de la India	35	61	30,60
Guayaba	35	65	31,05				

TB = Temperatura bajo el árbol

HB = Humedad bajo el árbol

TEB = Temperatura efectiva bajo el árbol

Árbol del pan *Artibocarpus utilis*.



Foto: Orlando Jiménez.

La combinación de alta temperatura con baja humedad propicia la aparición de la sensación térmica agradable debajo de los árboles, que se ha cuantificado a través del procedimiento que se ha explicado anteriormente.

Temperatura de confort de Barranquilla

.....
¹⁰ Personas adaptadas climáticamente, son las que en un determinado clima desarrollan un régimen metabólico normal tanto para su actividad laboral como el propio para su descanso, sin afectar su confort o su salud.

Para el cálculo de la temperatura de confort de Barranquilla, se aplicó el modelo adaptativo de Nicol y Humphreys (2001), por ser este el que ofrece resultados más ajustados a las expectativas térmicas de las personas adaptadas climáticamente¹⁰ al clima cálido húmedo. Además, se ha tenido en cuenta que la temperatura de confort en la que

se sienten cómodos los individuos habituados o adaptados a espacios naturalmente ventilados y con condiciones internas de temperatura superiores a las externas, tiende a ser mayor que la aceptada por individuos procedentes de lugares con clima templado o frío o ambientes enfriados mecánicamente.

La expresión matemática del modelo de Nicol y Humphreys es la siguiente:

$$T_c = 13,5 + 0,54T_m$$

en donde;

T_c = temperatura de confort

T_m = temperatura a bulbo seco en ° C, tomada como la media aritmética de la media de las máximas y la media de las mínimas

13,5 y 0,54 constantes de ajuste por regresión matemática

La temperatura de confort externa para Barranquilla, calculada mediante el modelo adaptativo de Nicol y Humphreys (2001) es de 28,04°C.

Esta temperatura, según lo expuesto, es el punto de referencia para el cálculo y estimación del índice de confort de la vegetación arbórea en estudio.

Índice de confort de la vegetación arbórea

El «índice de confort de la vegetación» es una medida que permite establecer, en términos cuantitativos, cual es la sensación térmica que se experimenta debajo de un árbol en comparación con la experimentada a pleno sol y teniendo como referente la «temperatura de confort» estimada para el lugar.

En consecuencia el «índice de confort» de la vegetación arbórea de Barranquilla se ha calculado como diferencia entre la «temperatura efectiva» bajo el árbol y la «temperatura de confort» de Barranquilla. La expresión matemática de este procedimiento es la siguiente:

$$ICVA = T_{ef} - T_c$$

T_{ef} = Temperatura efectiva fuera del árbol

T_c = Temperatura de confort

Remplazando T_{ef} y T_c por sus equivalentes el ICVA será igual a:

$$ICVA = (T - ((0,55 - 0,0055 \times H) \times (T - 14,5))) - (13,5 + 0,54T_m)$$

En donde;

ICVA = Índice de confort de la vegetación arbórea

T = temperatura ambiente en ° C

H = Humedad relativa en %

Guayaba *Psidium guajaba*.



Tabla 6.

Índice de confort de la vegetación arbórea de Barranquilla (en grados centígrados)

Laurel	-1,91	Mango	0,11
Olivo	-1,83	Clemón	0,15
Álamo blanco	-1,45	Caucho	0,21
Nuez moscada	-1,45	Azuceno blanco	0,30
Castaño blanco	-1,28	Matarratón común	0,30
Guácimo	-1,19	Tulipán africano	0,30
Abeto	-1,08	Huevo vegetal	0,50
Pisquín	-1,02	Caraqueño	0,59
Mamón	-0,94	Trupillo	0,59
Arnica	-0,85	Níspero	0,59
Árbol del pan	-0,85	Matarratón extranjero	0,69
Guayacán azul	-0,67	Azuceno rojo	0,69
Uva playa	-0,58	Tamarindo	0,69
Pivijai	-0,58	Camajará	0,79
Acacia blanca	-0,40	Totumo	0,88
Ceiba blanca	-0,40	San Joaquín	0,99
Eucalipto	-0,40	Marañón	1,09
Alstonia	-0,34	Azahar de la India	1,30
Coca o jayo	-0,31	Ciruelo	1,30
Roble morado	-0,22	Alelí	1,67
Pera costeña	-0,22	Guayacán amarillo	2,10
Lluvia de oro	-0,22	Aceituno	2,22
Ceiba bonga	-0,13	Acacia roja	2,31
Caucho pandurata	-0,08	Bendición de la India	2,56
Almendro	-0,03	Guayaba	3,01
Ceiba roja	-0,03		

0.55 y 0.0055 son constantes de ajuste matemático

14,5 constante de ajuste de la temperatura

T_m = temperatura a bulbo seco en ° C, tomada como la media aritmética de la media de las máximas y la media de las mínimas

13,5 y 0,54 constantes de ajuste por regresión matemática

El «índice de confort» calculado para cada especie arbórea de Barranquilla, da como resultados los valores que se muestran en la Tabla 6.

Como se puede observar en la Tabla 6 los valores para el índice de confort de la vegetación arbórea están entre -1,91 ° C por debajo de la temperatura de confort y 3,01° C por encima de la misma.

El árbol que presenta la diferencia de temperatura más baja entre temperatura efectiva y temperatura de confort, es decir el que ofrece la sensación térmica más agradable, es el laurel (*Ficus benjamina*) con -1,91° C y el que presenta la diferencia más alta, es decir el que ofrece la sensación térmica menos agradable, es la guayaba (*Psidium guajava*) con 3,01° C.

De acuerdo a los resultados de este estudio e intentando una interpretación cualitativa del índice de confort, los árboles presentes en el área urbana y semi-rural de Barranquilla, se pueden clasificar como se muestra en la Tabla 7.

Tabla 7. Clasificación de la vegetación arbórea de Barranquilla, según índice de confort

ÁRBOLES	ÍNDICE °C	CONDICIÓN
Guayaba.	2 a 3	Ligeramente Confortables
Uva playa, Ciruelo, Guayacán amarillo.	1 a 2	Medianamente confortables
Camajará o Piñón, Azuceno blanco, Tamarindo, Caraqueño, Trupillo, Azuceno rojo, Huevo vegetal, Caucho falso, Lluvia de oro, Níspero, Clemón, Acacia roja.	0 a 1	
Ceiba bonga, Ceiba (puyas), Congo, Matarratón , Pera costeña, Roble morado, Caucho, Coca o jayo, Alstonia, Acacia blanca, Ceiba blanca, Totumo, Eucalipto, Castaño, Pivijai, Mamón, San Joaquín, Abeto, Arbol del pan, Árnica, Marañón, Tulipán africano.	0 a -1	Confortables
Pisquín, Guayacán azul, Guácimo, Álamo blanco, Nuez moscada, Almendro, Olivo, Laurel, Mango.	-1 a -2	Muy confortables
	-2 a -3	

Trupillo *Prosopis juliflora*.



Conclusiones

De manera general se pueden plantear las siguientes conclusiones con relación al índice de confort de la vegetación arbórea de una localidad como Barranquilla.

- a) La temperatura bajo el árbol es inferior a la que se registra fuera del mismo a pleno sol. Esto se interpreta como que, sin excepción de especies, debajo de la vegetación arbórea se genera un microclima que se experimenta como una sensación térmica agradable.
- b) Hay árboles debajo de los cuales se experimenta una mejor sensación térmica que en otros.
- c) Cuanto más extendido es el radio de copa y más denso su follaje más baja será la temperatura y por lo tanto, más agradable la sensación térmica.
- d) Si se tiene en cuenta que los datos utilizados en el análisis provienen de mediciones tomadas a árboles aislados, las diferencias existentes entre la temperatura, la humedad relativa y la temperatura efectiva bajo el árbol y la temperatura y la humedad relativa a pleno sol, se

pueden catalogar como buenas desde el punto de vista de la creación o mantenimiento de condiciones ambientales de confort térmico.

e) En la perspectiva del uso racional y sistemático de la vegetación arbórea en el mejoramiento de las condiciones climáticas, se pueden esperar mejoras sustanciales en los climas locales con la creación de agrupaciones de árboles en línea o en la formación de pequeños bosques urbanos.

f) El que debajo de un árbol se experimente una mayor o menor sensación de comodidad dependerá del desarrollo alcanzado por las hojas, el radio de copa, y el follaje, lo cual se traduce en una modificación de las condiciones térmicas. La modificación de las condiciones térmicas, debajo del árbol, es lo que perciben las personas, a través de la piel, como una sensación térmica agradable y se acostumbra a expresarlo como un valor de temperatura.

g) La temperatura (alta o baja) que se siente en un lugar determinado, es la actuación de la temperatura ambiente y la humedad, sobre el organismo, combinada con los efectos de pérdida o ganancia de calor provocados por el mecanismo fisiológico de reacción a los cambios del ambiente externo.

h) Dependiendo del tipo de hoja (simple o compuesta), de la forma (lineal, oblonga, elíptica, etcétera), y del tamaño de la misma; se tendrán mejores o peores condiciones debajo del árbol, así por ejemplo, a mayor tamaño de las hojas, mayor obstrucción a la penetración de la radiación solar y por lo tanto más confort.

i) En general los árboles de hojas permanentes, o perennifolios¹¹ son buenos reguladores de las condiciones climáticas, con excepción de la guayaba (*Psidium guajava*), el alelí (*Melia azadirach*) y el abeto (*Cassia siamea*)

j) En cuanto a los árboles de hojas caducas o caducifolios,¹² los hay muy confortables y también poco confortables. Estos son muy importantes cuando su follaje está totalmente desarrollado, lo cual coincide con el período más crítico del clima de la ciudad; el cual transcurre de mayo a agosto.

k) El follaje, es el elemento, de la morfología del árbol, más decisivo o incidente en la generación de la sensación térmica agradable que se experimenta debajo de los árboles. Cuanto más denso sea el follaje, más protección habrá contra la penetración de la radiación solar y por lo tanto, mejores condiciones ambientales.

.

¹¹ Se denomina como perennifolios a los árboles cuyas hojas permanecen prendidas a las ramas hasta cumplir su ciclo de vida.

¹² Se denomina como caducifolios a los árboles cuyo follaje se desfolia totalmente cuando el árbol no cuenta con suficiente agua, esto coincide con el período seco y fresco del clima de la ciudad.

Referencias

- ◆ Arias, Tatiana. (2004) *Arquitectura de Raíces y Vástagos de Vismia baccifera y de Raíces de Vismia macrophylla (Clusiaceae)*. Universidad de Antioquia. Medellín.
- ◆ Cervantes Sandoval, Armando; Pangaza Rodríguez, Yolanda; et al. (2002). *LINSIS: Sistemas Lindenma Yer y Gramáticas formales, una opción para modelar formas vegetales*. UNAM.
- ◆ Chavez del Valle Francisco Javier. (2002), *Zona Variables de Confort Térmico*. Universidad Politécnica de Catalunya. Barcelona.
- ◆ Cuadros Villalobos, Hermes. (1997), *Árboles Costeños –Palos de Currumbá–*. Editorial Antillas. Barranquilla.
- ◆ DAMA, (1995), *Los Recursos Naturales y el Medio Ambiente*, DAMA, Bogotá
- ◆ Fialho Harder, Isabel Cristina. (2002), *Inventario Quali-Quantitativo da Arborização e Infraestrutura das Praças da Cidade de Vinhedo (SP)*. Sao Paulo.
- ◆ Houghton, FC, CP Yagoglou. (1923). *Determining equal comfort lines*. J ashve 29.
- ◆ Hessayon, D.G. (1985), *Árboles y arbustos de Jardín: Manual de cultivo y conservación*. Editorial Blume. Barcelona.
- ◆ Jimenez, Eliana; Londoño, Ana; et al. (2002), *Descripción de la Arquitectura de Iryanthera tricornis, Osteophloeum platyspermum y Virola pavonis (Myristicaceae)*. Fundación Tropenbos & El Colegio de la Frontera Sur – Ecosur-. Bogotá.
- ◆ Ruiz, Mario, (1983), *Aspectos Fisiológicos del Microclima en los Espacios Interiores*. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá,
- ◆ FAO. <http://www.fao.org/> *Revista internacional de Silvicultura e industrias forestales*.
- ◆ (2003), Nilsson, Kjell y Randrup, Thomas. *Actividades Forestales Urbanas y Periurbanas*.
- ◆ Parrotta, Jhon. (1992), *Gliricidia sepium (Jacq.) Walp*. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station.
- ◆ Puccini, Efraín. (2001), *Arborizaciones en el Distrito de Barranquilla*. DADIMA.
- ◆ Puentes, Mary. (2002), *Plantas Parque Nacional Natural Tayrona: Las cien especies más sobresalientes*. Lito Camargo. Santa Marta.
- ◆ Rappaport, Amos. (1972) *Vivienda y Cultura*. Gustavo Gili. Barcelona.
- ◆ Roca Candanoza, Rafael. (2001), *Flores y Frutos de Plantas Comunes de Santa Marta*. Tomo I. Fondo Editorial Universidad del Magdalena. Santa Marta.
- ◆ Saito, I., Ishihara, O. y Katayama, T. (1991). *Study of the effect of green areas on the thermal environment in an urban area. Energy and Buildings*, 15-16: 493-498.
- ◆ Salisbury Frank B y Ross Cleon W. (2000), *Fisiología de las Plantas*. Paraninfo. Madrid.
- ◆ Segovia, Roberto; Sedano, Raúl et al. (2000), *Árboles, arbustos y aves en el Agrosistema del CIAT*. Centro Internacional de Agricultura Trópica –CIAT-. Valle del Cauca.
- ◆ Olgyay, Victor (1968), *Clima y Arquitectura en Colombia*. Cali.
- ◆ <http://web.usual.es>. Evapotranspiración. Universidad de Salamanca.
- ◆ <http://www.amazings.com>. Los Efectos de las Islas Urbanas de Calor.
- ◆ <http://www.biologia.cia.edu.co>. Recursos Biológicos. Escuela de Ingeniería de Antioquia.
- ◆ <http://www.cricyt.edu.ar>. Algunas funciones de los árboles y bosques en el medio urbano.
- ◆ <http://www.ideam.gov.co>. Información Histórica: El Clima en Colombia.
- ◆ <http://www.isa-arbor.com/> Algunos Árboles y otras Plantas Comunes.
- ◆ <http://www.jmarcano.com>. Matices de Verde: Los Bosques, Biomas del Mundo
- ◆ <http://www.meteo.bg/Eurasap/49/contents.html>. *Some Biometereological Aspects of Climate Urban in Sofia*.
- ◆ <http://www.sbau.com.br>. *Relação espaço urbano, forma do vegetal e manejo*.
- ◆ <http://www.sentir@sentir.org>. Zonas de Vida Colombiana.
- ◆ <http://www.corantioquia.gov.co> Conservación y Manejo de la Flora Silvestre en la Jurisdicción de Corantioquia.
- ◆ <http://sanfern.ies.es/home.html>. Santiago Fernández. Arboricultura Urbana y Medioambiente
- ◆ <http://danielrivas.net/> Arboricultura

